

レーザ装置の波長制御装置

技術分野

本発明は、レーザ光を狭帯域化して中心波長の制御を行なう波長制御装置に関する。

背景技術

従来から、エキシマレーザ装置等から発振したレーザ光を狭帯域化し、その中心波長を所望の値に制御する狭帯域化技術が知られており、例えば日本特開5-283785号公報に示されている。図10は、同公報に開示されたレーザ装置の構成を表しており、以下図10に基づいて従来技術を説明する。

図10において、エキシマレーザ装置11は、レーザ媒質であるレーザガスを封入し、両端部にレーザ光21を透過するウィンドウ17, 19を取着したレーザチャンバ12を備えている。レーザチャンバ12の内部では、図示しない放電電極間に高電圧が印加され、放電によってレーザガスを励起し、レーザ光21を発生させる。

発生したレーザ光21は、狭帯域化ユニット30に入射し、プリズム32によって拡大され、波長選択ミラー34によって反射されて、狭帯域化光学部品であるグレーティング33に入射する。グレーティング33では、回折によって所定の中心波長 λ_c 近傍の波長を有するレーザ光21のみが反射される。これを、狭帯域化と言う。

このとき、波長選択ミラー34は、レーザ光21に対する角度をパルスモータ40によって変更自在の、可動ホルダ36に搭載されている。波長選択ミラー34の向きを変更すると、グレーティング33に対するレーザ光21の入射角度が変わり、グレーティング33で回折されるレーザ光21の中心波長 λ_c が変化する。即ち、波長選択ミラー34の向きを変更することにより、発振するレーザ光21の中心波長 λ_c を、所望する目標波長 λ_0 に制御することが可能である。

また、エキシマレーザ装置 1 1 は、レーザ光 2 1 の一部をビームスプリッタ 2 2 で取り出し、波長モニタ 3 7 によってレーザ光 2 1 の中心波長 λ_c をモニタリングしている。レーザコントローラ 1 3 は、モニタリングした中心波長 λ_c に基づき、パルスモータ 4 0 に指令信号を出力して波長選択ミラー 3 4 を回転させ、レーザ光 2 1 の中心波長 λ_c を所望の目標波長 λ_0 に制御している。

狭帯域化ユニット 3 0 内で狭帯域化されたレーザ光 2 1 は、狭帯域化ユニット 3 0 とレーザ光 2 1 を部分反射するフロントミラー 1 6 との間で、数回往復するうちに、レーザチャンバ 1 2 内で増幅される。そして、中心波長 λ_c を有するレーザ光 2 1 として、前方（図 1 0 中紙面の左方）へ出射する。

しかしながら、前記従来技術には、次に述べるような問題がある。

即ち、エキシマレーザ装置 1 1 をステッパ等の加工機の露光用光源として用いるような場合には、ウェハやレチクルの入れ替えなどのために一定時間にわたって放電を停止し、レーザ発振を止めなければならない場合がある。このような場合には、プリズム 3 2 等の光学部品自体の特性が変化したり、光学部品周辺の温度低下のために光学部品を固定する固定部品（図示せず）が伸縮したりして、中心波長 λ_c がずれてしまう。また、放電をしばらく停止した後では、放電電極やレーザガスの状態変化による、中心波長 λ_c のドリフトも起きる。このドリフトをチャージングと言う。さらには、加工機（図示せず）から、周囲雰囲気（図示せず）の温度や気圧等の環境変化に対応し、目標波長 λ_0 を変えるように指令が送信される場合がある。

このように中心波長 λ_c を変化させなければならない場合に、従来技術ではレーザコントローラ 1 3 からパルスモータ 4 0 に指令信号を出力し、波長選択ミラー 3 4 の角度を変えて中心波長 λ_c を変化させている。ところが、一般的にパルスモータ 4 0 の応答時間は長く、指令信号受信後、所望するパルスモータ 4 0 のストローク長さに達するまでおよそ数～数十 msec を要する。そのため、レーザコントローラ 1 3 が指令を出してから中心波長 λ_c が目標波長 λ_0 に達するまでに、例えば数 kHz の高いパルス周波数で発振するようなレーザ光 2 1 であれば、数

パルス～数十パルスのレーザ光 2 1 が出射してしまう。

その結果、露光には不適切な中心波長 λ_c のレーザ光 2 1 が加工機に入射し、露光の不良が生じる。これを避けるためには、例えばシャッタ等によってレーザ光 2 1 を遮光しなければならないが、シャッタの開閉のための時間により、加工を開始するまでの待ち時間がさらに長くなって、加工機の稼働率が低下するという問題がある。

発明の要約

本発明は、かかる技術の問題点を解消するためになされたものであり、短時間でレーザ光の中心波長を所望の目標波長に制御可能な、レーザ装置の波長制御装置を提供することを目的としている。

上記の目的を達成するために、本発明に係るレーザ装置の波長制御装置は、光学部品をレーザ光軸に対して移動自在とする可動ホルダと、光学部品をレーザ光軸に対して移動させ、レーザ光の狭帯域化光学部品への入射角度を変更してレーザ光の中心波長を所定の目標波長に制御するレーザコントローラとを備えるレーザ装置の波長制御装置において、

可動ホルダは、微小距離を駆動する第 1 駆動機構と、第 1 駆動機構よりも長い距離を駆動する第 2 駆動機構とを備えることを特徴としている。

かかる構成によれば、中心波長を細かく制御する際には微小距離が駆動できる第 1 駆動機構によって駆動し、中心波長を大きく動かす場合には第 2 駆動機構によって駆動する。これにより、精度良く、かつ大きな範囲にわたっての波長制御が可能となる。

また、レーザ装置の波長制御装置において、

第 1 駆動機構が圧電素子ユニットであり、

第 2 駆動機構がパルスモータユニットである構成としてもよい。

かかる構成によれば、反応が速い圧電素子ユニットと、ストロークが長いパルスモータユニットとを備えている。中心波長を短時間で制御しなければならない

場合には圧電素子ユニットで制御し、大きく制御しなければならない場合にはパルスモータユニットで制御することにより、迅速でかつ広い範囲にわたる波長制御が可能である。

また、レーザ装置の波長制御装置において、

レーザコントローラは、光学部品の変位の際に、

圧電素子ユニットにより光学部品を移動させ、

その後、パルスモータユニットにより光学部品を移動させる構成としてもよい。

かかる構成によれば、まず、反応の速い圧電素子ユニットによって光学部品を移動させているので、中心波長が迅速に目標波長に到達する。そして、その後はストロークの長いパルスモータユニットによって制御を行なうので、目標波長が変化した場合などにも中心波長を大きく変化させられ、対応が容易である。

また、レーザ装置の波長制御装置において、

レーザコントローラは、

圧電素子ユニットにより光学部品を移動させて中心波長を所定の目標波長に合わせ、

中心波長を目標波長に合わせた状態で、圧電素子ユニットを中立位置に戻すと同時に、圧電素子ユニットを中立位置に戻すことによる光学部品の位置変化を、パルスモータユニットによって相殺させる構成としてもよい。

圧電素子は、長時間にわたって一定の高電圧を印加し続けると、劣化することがある。従って、圧電素子を中立位置に戻すことにより、印加する電圧がそれほど高くならず、劣化が防止される。そして、圧電素子を中立位置に戻す際に、パルスモータユニットによって光学部品の位置変化を相殺することにより、中心波長を常に目標波長に合わせることが可能となっている。

また、レーザ装置の波長制御装置において、

レーザ光の中心波長をモニタリングする波長モニタを更に備え、

レーザコントローラは、レーザ発振を所定時間以上停止した後に再発振する際

再発振後の目標波長に基づき、発振停止中に予め、パルスモータユニットを駆動して光学部品のレーザ光軸に対する位置を変更し、

再発振直後に、波長モニタでモニタリングしたレーザ光の中心波長に基づき、圧電素子ユニットにより可動ホルダを駆動して光学部品のレーザ光軸に対する位置を再変更する構成としてもよい。

レーザ発振を、所定時間以上停止した場合には、中心波長が目標波長から大きくずれる場合がある。従って、このような場合には、予めパルスモータユニットによって、光学部品の位置を変更することにより、中心波長を目標波長に概略合わせるようにする。その上で、反応の速い圧電素子ユニットによって波長制御を再開するので、中心波長が目標波長に合うまでの時間が短縮される。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係るレーザ装置の説明図である。

図 2 は、第 1 実施形態に係る可動ホルダの平面断面図である。

図 3 は、図 2 の狭帯域化ボックス内部側から見た可動ホルダの正面図である。

図 4 は、第 1 実施形態に係る第 1 の制御手順を説明するタイミングチャートである。

図 5 は、第 1 実施形態に係る第 2 の制御手順を説明するタイミングチャートである。

図 6 は、本発明の第 2 実施形態に係る可動ホルダの平面断面図である。

図 7 は、本発明の第 3 実施形態に係る可動ホルダの、狭帯域化ボックス内部側から見た正面図である。

図 8 は、本発明の第 1 実施形態に係るレーザ装置の変形例の説明図である。

図 9 は、本発明の第 1 実施形態に係るレーザ装置の変形例の説明図である。

図 10 は、従来技術に係るレーザ装置の説明図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図を参照しながら、本発明に係る実施形態を詳細に説明する。尚、以下の実施形態では、レーザ装置として、エキシマレーザ装置を例にとり説明する。

第1実施形態を説明する。図1は、第1実施形態に係るエキシマレーザ装置11の構成を示している。図1において、エキシマレーザ装置11は、レーザ媒質であるレーザガスを封入したレーザチャンバ12を備えている。レーザチャンバ12の両端部には、レーザ光21を透過するフロントウィンドウ17及びリアウィンドウ19が、ホルダ（図示せず）によってそれぞれ取着されている。レーザチャンバ12の内部には、一对の放電電極14、15が、図1中紙面と垂直方向に対向して設置されている。高圧電源23より、放電電極14、15間に高電圧を印加し、放電を起こしてレーザガスを励起し、レーザ光21を発生させる。

発生したレーザ光21は、例えば後方（図1中左方）へ進行し、レーザ光21を狭帯域化する狭帯域化ユニット30に入射する。狭帯域化ユニット30は、光学部品として、プリズム32、32、波長選択ミラー34、及びグレーティング33等を備えている。さらにこれらの光学部品を狭帯域化ボックス31によって囲繞している。狭帯域化ボックス31の壁には、パージガス給気口35が付設され、窒素などの清浄な乾燥した不活性ガス45を狭帯域化ボックス31内部に導入している。

狭帯域化ユニット30に入射したレーザ光21は、プリズム32、32によって拡大され、波長選択ミラー34によって反射され、狭帯域化光学部品であるグレーティング33に入射する。グレーティング33では、回折によって、レーザ光21の入射角によって定まる所定の中心波長 λ_c のレーザ光21のみが反射される。このとき、波長選択ミラー34は、水平面内（図1中紙面と平行な平面内）で回動自在の、可動ホルダ36に搭載されている。波長選択ミラー34のレーザ光軸20に対する角度 θ を変更することにより、グレーティング33に入射するレーザ光21の入射角度 ϕ が変わり、グレーティング33で回折されるレーザ光21の中心波長 λ_c が変化する。

狭帯域化ユニット 30 内で狭帯域化されたレーザ光 21 は、狭帯域化ユニット 30 と、レーザ光 21 を部分反射するフロントミラー 16 との間で数回往復するうちに、放電電極 14, 15 間の放電によって増幅される。そして、フロントミラー 16 を透過し、レーザ光 21 として前方（図 1 中、右方）へ出射する。出射したレーザ光 21 の一部はビームスプリッタ 22 で取り出され、波長モニタ 37 によってその中心波長 λ_c をモニタリングされる。

以下、第 1 実施形態に係る可動ホルダ 36 の構造について、詳細に説明する。図 2 に、可動ホルダ 36 の平面断面図、図 3 に狭帯域化ボックス 31 内部側から見た、可動ホルダ 36 の正面図を示す。図 2、図 3 に示すように、可動ホルダ 36 は、波長選択ミラー 34 を固定した四角形のミラーホルダ 38 を備えている。ミラーホルダ 38 は、引きバネ（図示せず）及び板バネ 49 の付勢力によって、狭帯域化ボックス 31 に引きつけられている。

ミラーホルダ 38 の 4 隅部 38A ~ 38D のうち、第 3 隅部 38C 及び第 1 隅部 38A は、それぞれ支持部材 39 及び手動マイクロメータ 50 によって、狭帯域化ボックス 31 から押圧されている。支持部材 39 は、例えばスクリュー 47 を所定長さだけ狭帯域化ボックス 31 から突き出させ、ナット 46 で固定している。また、手動マイクロメータ 50 は、手動で狭帯域化ボックス 31 からの突き出し量を変更自在である。ミラーホルダ 38 の第 2 隅部 38B には、後述するように圧電素子ユニット 41 が取着されている。圧電素子ユニット 41 の先端部 41B は、ボールネジユニット 43 を介して、狭帯域化ボックス 31 に固定されたパルスモータユニット 40 から押圧されている。

図 1 に示すように、パルスモータユニット 40 及び圧電素子ユニット 41 は、いずれもレーザコントローラ 13 に電氣的に接続されている。パルスモータユニット 40 は、レーザコントローラ 13 から受信したパルス信号のパルス数に応じて、モータ軸 48（図 2 参照）を所定量だけ回転させる。モータ軸 48 の先端部 48A には、カップリング 42 を介して、ネジ山が精密加工されたボールネジユニット 43 の後端部 43B が取着されている。ボールネジユニット 43 は、ガイ

ド 5 1 によって、回転しながら前後方向にスムーズに直進運動を行なう。

ボールネジユニット 4 3 の先端部 4 3 A は、その長手方向に垂直な平面に精密加工され、この平面に、球面に精密加工された圧電素子ユニット 4 1 の先端部 4 1 B が当接している。従って、ボールネジユニット 4 3 が回転しながら前後動したとき、圧電素子ユニット 4 1 は回転せずに前後動する。圧電素子ユニット 4 1 の後端部 4 1 A は、ミラーホルダ 3 8 に固定された紫外線カバー 4 4 に固定されている。圧電素子ユニット 4 1 の配線 5 2 は、紫外線カバー 4 4 の内側を通過して、導入孔（図示せず）を介して狭帯域化ボックス 3 1 の外部に達しており、レーザコントローラ 1 3 に接続されている。圧電素子ユニット 4 1 は、配線 5 2 を介して印加された、電圧 V の大きさに応じた長さだけ、前後方向に伸長する。

即ち、レーザコントローラ 1 3 は、可動ホルダ 3 6 に信号を出力してパルスモータユニット 4 0 又は圧電素子ユニット 4 1 を伸縮させることにより、紫外線カバー 4 4 を介してミラーホルダ 3 8 の第 2 隅部 3 8 B を押し引きする。これにより、波長選択ミラー 3 4 が回動し、前記入射角度 ϕ が変更されて、レーザ光 2 1 の中心波長 λ_c が変化する。

このときレーザコントローラ 1 3 は、波長モニタ 3 7 によってモニタリングした中心波長 λ_c に基づき、中心波長 λ_c と目標中心波長 λ_0 との差である波長偏差 $\Delta\lambda$ が、所定の許容範囲よりも小さくなるように、波長制御を行なっている。以下の説明では、“波長偏差 $\Delta\lambda$ を所定の許容範囲よりも小さくなるように波長制御する”ことを、中心波長 λ_c を目標波長 λ_0 に合わせると言う。また、レーザコントローラ 1 3 は、高圧電源 2 3 に指令を出力することにより、エキシマレーザ装置 1 1 の出力などの制御も行なっている。さらにレーザコントローラ 1 3 は、加工機 2 5 と互いに通信を行なっている。

次に、レーザコントローラ 1 3 が、レーザ光 2 1 の中心波長 λ_c を所望の目標波長 λ_0 に合わせる際の、具体的な制御手順について説明する。

まず、レーザ発振を所定時間以上にわたって停止した後、再発振を行なう場合（これを、第 1 の制御手順と言う）について説明する。図 4 は、上方から加工

機 2 5 からの発振指令 (ON/OFF) 信号、波長モニタ 3 7 によってモニタリングされた中心波長 λ_c と目標中心波長 λ_0 との差を示す波長偏差 $\Delta\lambda$ 、圧電素子ユニット 4 1 に出力される指令電圧 V 、及びパルスモータユニット 4 0 に出力されるパルス信号のパルス数 P をそれぞれ示すタイミングチャートである。

時刻 t_{11} までの間、発振指令信号は ON になっており、レーザ光 2 1 が発振している。その間、レーザコントローラ 1 3 は、レーザ光 2 1 の中心波長 λ_c をモニタリングし、これを所望する目標中心波長 λ_0 に制御すべく、パルスモータユニット 4 0 にパルス信号を出力している。これにより、波長偏差 $\Delta\lambda$ は、0 近傍で小さな変動を繰り返す。このときレーザコントローラ 1 3 は、圧電素子ユニット 4 1 をフルストロークで伸長させる最大印加電圧 V_M の約 $1/2$ の大きさの中立電圧 V_0 を、圧電素子ユニット 4 1 に常時印加している。これにより、圧電素子ユニット 4 1 は、フルストロークのうちの略中間の位置 (以下、中立位置と言う) に保たれている。

時刻 t_{11} において、加工機 2 5 からレーザコントローラ 1 3 にレーザ発振を停止する指令 (OFF) が出力されると、レーザコントローラ 1 3 は高圧電源 2 3 に停止指令を出力し、放電を停止してレーザ発振を中断させる。これに伴い、レーザコントローラ 1 3 は、波長制御のためにパルスモータユニット 4 0 に送信していたパルス信号を停止させる。

そして、時刻 t_{12} において、加工機 2 5 からレーザ発振を再開する信号 (ON) が出力されると、レーザコントローラ 1 3 は高圧電源 2 3 に指令を出力し、放電電極 1 4, 1 5 間に高電圧を印加してレーザ発振を再開する。このとき、時刻 $t_{11} \sim t_{12}$ にわたって放電が停止されていたため、背景技術の欄で説明した“温度低下による中心波長 λ_c のずれ”が生じている。さらには、前記チャージングも起きており、中心波長 λ_c が目標波長 λ_0 から大きくずれている。このときの波長偏差 $\Delta\lambda$ を、 $\Delta\lambda_1$ とする。

レーザコントローラ 1 3 は、時刻 t_{12} におけるレーザ発振の再開に伴い、波長モニタ 3 7 から中心波長 λ_c をモニタリングする。そして、中心波長 λ_c を目

標波長 λ_0 とするために必要な波長選択ミラー34の回転量を演算し、これに基づいて、圧電素子ユニット41に波長選択ミラー34を所望の角度 θ まで回転させるのに必要な電圧 V_1 を印加する。これにより、圧電素子ユニット41は、およそ数〜数十 μsec で“所望の長さ”（以下、波長制御位置と言う）まで伸縮する。伸縮後は、さらにモニタリングした中心波長 λ_c に基づいて電圧 V を微調整することにより、時刻 t_{13} において中心波長 λ_c が目標波長 λ_0 に略一致し、波長偏差 $\Delta\lambda$ が許容範囲よりも小さくなる。

その後レーザコントローラ13は、時刻 t_{13} 〜時刻 t_{14} にかけて、圧電素子ユニット41に印加した電圧 V を徐々に変化させて、電圧 V_1 から中立電圧 V_0 まで戻す。これと同時にレーザコントローラ13は、波長偏差 $\Delta\lambda$ を許容範囲内に保ちながら、パルスモータユニット40を圧電素子ユニット41の伸縮量と同じだけ、略同一の伸縮速度で逆方向に伸縮させる。これにより、時刻 t_{14} に、圧電素子ユニット41が中立位置まで戻る。そしてその後は、圧電素子ユニット41を中立位置に保ちながら、パルスモータユニット40のみによって波長制御を行なう。

即ち、時刻 t_{13} までは、圧電素子ユニット41のストロークによって可動ホルダ36を駆動し、波長選択ミラー34の角度 θ を決定する。そして、時刻 t_{13} 〜 t_{14} の間は、圧電素子ユニット41とパルスモータユニット40との両方のストロークによって可動ホルダ36を駆動し、時刻 t_{14} からは、パルスモータユニット40のみによって駆動する。

次に、例えば加工機25よりの指令により、目標波長 λ_0 を変更しなければならなくなったような場合（これを、第2の制御手順と言う）について説明する。このような場合にも、前記と同様の理由により、エキシマレーザ装置11は、中心波長 λ_c を新たな目標波長 λ_0 に短時間で合わせる必要がある。

図5は、加工機25からの発振指令（ON/OFF）信号、波長偏差 $\Delta\lambda$ 、圧電素子ユニット41に出力される指令電圧 V 、及びパルスモータユニット40に出力されるパルス信号のパルス数 P をそれぞれ示すタイミングチャートである。

時刻 t_{21} において、加工機 25 からレーザコントローラ 13 にレーザ発振を停止する指令 (OFF) が出力されると、レーザコントローラ 13 は高圧電源 23 に停止指令を出力し、放電を停止してレーザ発振を中断させる。これに伴い、レーザコントローラ 13 は、波長制御のためにパルスモータユニット 40 に送信していたパルス信号を停止させる。

時刻 t_{22} において、加工機 25 からレーザコントローラ 13 に、新たな目標波長 λ_N が出力される。レーザコントローラ 13 は、これまでの目標波長 λ_0 と新たな目標波長 λ_N との波長差を算出する。そして、予め定めておいた、変更させる波長差とパルスモータユニット 40 へ指令するパルス数との関係を記憶させておいたテーブルに基づいて、波長差に応じたパルス数 P_1 を求める。そして、このパルス数 P_1 だけ、パルスモータユニット 40 にパルス信号を出力する。このように、予め中心波長 λ_c を新たな目標波長 λ_N に概略近づけておくことにより、中心波長 λ_c を新たな目標波長に合わせるための時間が短縮される。これを、プリドライブと言い、時刻 t_{23} に終了するものとする。

時刻 t_{24} において、加工機 25 からレーザ発振を再開する信号 (ON) が出力されると、レーザコントローラ 13 は高圧電源 23 に指令を出力し、放電電極 14, 15 間に高電圧を印加して、レーザ発振を再開する。時刻 t_{24} においては、プリドライブによって中心波長 λ_c は新たな目標波長 λ_N に概略近づいてはいるが、レーザ光 21 を発振していないため、正確に目標波長 λ_N に合っているか否かが不明である。さらには、時刻 $t_{21} \sim t_{24}$ にわたって放電が停止されていたため、上述したようにレーザチャンバ 12 の内部の温度の降下やチャージング等により、中心波長 λ_c は新たな目標波長 λ_N からずれており、波長偏差 $\Delta\lambda$ が $\Delta\lambda_2$ となっている。

そこでレーザコントローラ 13 は、時刻 t_{24} におけるレーザ発振の再開に伴い、波長モニタ 37 から中心波長 λ_c をモニタリングする。そして、中心波長 λ_c を目標波長 λ_N に合わせるための波長選択ミラー 34 の回転量を演算し、圧電素子ユニット 41 に波長選択ミラー 34 を所望の角度 θ まで回転させるのに必要

な電圧 V_2 を印加する。これにより、圧電素子ユニット41は、およそ数～数十 μsec で波長制御位置まで伸縮する。伸縮後は、さらにモニタリングした中心波長 λ_c に基づき、電圧 V を微調整することにより、時刻 t_{25} において中心波長 λ_c が新たな目標波長 λ_N に略一致し、波長偏差 $\Delta\lambda$ は許容範囲よりも小さくなる。

以降の制御は、上記第1の制御手順とほぼ同様である。レーザコントローラ13は、時刻 t_{25} ～時刻 t_{26} にかけて、圧電素子ユニット41に印加した電圧 V を徐々に変化させて、中立電圧 V_0 まで戻す。同時に、波長偏差 $\Delta\lambda$ を許容範囲内に保ちながら、パルスモータユニット40を圧電素子ユニット41の動きと逆方向に伸縮させる。その後は、圧電素子ユニット41を中立位置に保ちながら、パルスモータユニット40によって波長制御を行なうようにする。

尚、上記の各タイミングチャートにおいて、時間 t は等間隔目盛とはなっておらず、適宜縮尺を変更している。例えば、時刻 t_{24} ～ t_{25} に要する時間は、説明の通り数～数十 μsec であるが、説明のために横方向に拡大して描かれているものである。また、このような第2の制御手順は、レーザ発振の停止中に目標波長 λ_0 が変化しない場合にも、応用が可能である。即ち、所定時間以上にわたってレーザ発振が停止すると、中心波長 λ_c が目標波長から大きくずれる。従って、レーザ発振が停止した場合には、中心波長 λ_c が長くなるか短くなるかを予め確認しておき、停止中に、このずれを補正する方向にプリドライブを行なうようにしてもよい。

以上説明したように第1実施形態によれば、波長選択ミラー34を水平面内で回動させる可動ホルダ36が、微小距離の駆動が可能な第1駆動機構と、長い距離を駆動可能な第2駆動機構とを備えている。これにより、中心波長 λ_c を細かく制御する際には第1駆動機構によって駆動し、中心波長 λ_c を大きく動かす場合には第2駆動機構によって駆動することにより、精度良く、かつ大きな範囲にわたっての波長制御が可能となる。

第1駆動機構として圧電素子ユニット41を、第2駆動機構としてパルスモータ

タユニット40を用いている。即ち、圧電素子ユニット41は、短時間で伸縮させることが可能であるが、伸縮可能なストロークは短い。これに対し、パルスモータユニット40は伸縮に時間がかかるものの、ストロークが長い。従って、これらを組み合わせることにより、急激に中心波長 λ_c を制御しなければならない場合には、応答の速い圧電素子ユニット41によって、素早く中心波長 λ_c を目標波長 λ_0 近傍に制御する。中心波長 λ_c が目標波長 λ_0 に略一致したならば、その後の中心波長 λ_c の変動は時間的にゆっくりしたものになることが知られているので、パルスモータユニット40によって制御を行なうことにより、中心波長 λ_c の大きな変動にも対応可能である。短時間で中心波長 λ_c を目標波長 λ_0 に合わせることができ、しかも大きな中心波長 λ_c の変化にも対応できる。

さらに、中心波長 λ_c が、目標波長 λ_0 からずれると予想されるような場合には、レーザコントローラ13は、まず圧電素子ユニット41によって波長選択ミラー34を駆動している。圧電素子ユニット41は、指令電圧Vが印加されてから、数 μsec 程度という非常に短い時間で、所望の長さに伸縮する。従って、短時間で波長選択ミラー34を目標の角度 θ に正確に制御し、所望する中心波長 λ_c のレーザ光21を得ることができる。その結果、レーザ光21をリソグラフィ等の加工に応用するような場合、加工に不適なレーザ光21が殆んど出射せずに、加工の不具合が少なくなる。また、加工を開始するまでの待ち時間が短縮され、加工機25の稼働率が向上する。

特に、第1実施形態で説明したように、レーザ発振を所定時間以上停止したり、さらにはレーザ発振中やレーザ発振停止中に目標波長 λ_0 を変更する場合には、波長偏差 $\Delta\lambda$ が大きくなる。このような場合にも、本発明によれば短時間で中心波長 λ_c を目標波長 λ_0 に合わせられるので、非常に効果的である。

圧電素子ユニット41によって波長選択ミラー34の角度 θ を制御した後、圧電素子ユニット41を中立位置に戻し、その後はパルスモータユニット40によって波長選択ミラー34の角度 θ を制御している。圧電素子ユニット41は、一定の電圧を印加し続けたり、周囲の温度が変化すると、その長さが変動すること

がある。従って、このような変動のないパルスモータユニット40によって波長選択ミラー34を駆動することにより、長時間にわたって波長制御を正確に行なうことが可能である。

圧電素子ユニット41は、大きな電圧Vを印加し続けると、劣化しやすくなることが知られている。従って、時刻 t_{14} 及び時刻 t_{26} 以降の制御を、パルスモータユニット40に行なわせることにより、圧電素子ユニット41には最大印加電圧VMの約 $1/2$ の大きさの中立電圧V0のみを印加するに留め、圧電素子ユニット41の劣化を防止している。

さらに、パルスモータユニット40の先端部Aに、圧電素子ユニット41を取着している。従って、圧電素子ユニット41を中立位置に戻す際には、圧電素子ユニット41の伸縮と同じスピードで、パルスモータユニット40を反対方向に伸縮させることで、圧電素子ユニット41の伸縮量を正確に相殺できる。即ち、波長選択ミラー34の角度 θ に対して制御の自由度が一つであるので、伸縮量相殺のための制御が容易であり、制御が破綻して波長選択ミラー34の角度 θ が狂うことが少ない。

紫外線カバー44によって、圧電素子ユニット41にレーザ光21やその反射光が当たらないようにしている。圧電素子ユニット41は、紫外線を照射されることにより、劣化することが知られている。エキシマレーザ装置11はレーザ光21が紫外線であるため、紫外線カバー44によって紫外線の照射を妨げることで、圧電素子ユニット41の劣化が防止される。

不活性ガス45を狭帯域化ボックス31内部に導入し、圧電素子ユニット41の周囲を不活性ガス45で満たしているため、圧電素子ユニット41が常に乾燥した雰囲気中にある。圧電素子ユニット41は、湿気に弱く、高い湿度環境では劣化するということが知られており、周囲の湿度を低くすることにより、圧電素子ユニット41の寿命を長くすることができる。

所定時間以上レーザ発振が停止したり、目標波長 λ_0 が変更された場合には、レーザ光21の中心波長 λ_c のずれ量を予め予想し、これに基づいて、パルスモ

ータユニット40によって波長選択ミラー34の角度を概略合わせるようにしている。これにより、中心波長 λ_c が目標波長 λ_0 に近いところから、波長制御を再開できるので、中心波長 λ_c が目標波長 λ_0 に合うまでの時間が短縮される。そして、ストロークの大きなパルスモータユニット40によって可動ホルダ36を駆動しているので、中心波長 λ_c が大きくずれる場合にも対応可能である。

尚、上記実施形態は、レーザ発振の停止や目標波長 λ_0 の変更により、波長偏差 $\Delta\lambda$ が大きな場合の波長制御について説明したが、これに限られるものではない。例えば、時刻 t_{11} 、 t_{21} 以前や、時刻 t_{14} 、 t_{26} 以降のように、波長選択ミラー34の角度 θ を変更する際には、常に圧電素子ユニット41を駆動して波長制御を行なってもよい。このような場合には、圧電素子ユニット41のストロークが所定の長さを越えるか、圧電素子ユニット41に印加する電圧 V が所定値を越えると、パルスモータユニット40による波長制御に切り替えるようにする。或いは、上述した第1、第2の制御手順のように、圧電素子ユニット41のストロークをパルスモータユニット40で相殺させ、圧電素子ユニット41が中立位置に戻った後は、再度圧電素子ユニット41によって波長制御を行なうようにしてもよい。

即ち、恒常的にレーザ発振している場合の波長制御においても、圧電素子ユニット41によって波長選択ミラー34の角度 θ を変化させることにより、短時間で波長制御を行なうことができる。従って、波長制御が間に合わずに波長偏差 $\Delta\lambda$ が許容値より大きくなるようなことが少なく、加工機25の稼働率が向上する。しかも圧電素子ユニット41は、パルスモータユニット40と比較して極めて微小な距離を高い分解能で正確に伸縮させることが可能であり、入射角度 ϕ を正確に制御して、波長偏差 $\Delta\lambda$ をより小さくできる。

次に、第2実施形態について説明する。図6に、第2実施形態に係る可動ホルダ36の平面断面図を示す。図6において、パルスモータユニット40及びその先端に取着された圧電素子ユニット41は、いずれも狭帯域化ボックス31の外部に取り付けられている。圧電素子ユニット41の後端部41Aは、狭帯域化ボ

ックス 3 1 に設けられた開口部 5 4 を通ってミラーホルダ 3 8 の第 2 隅部 3 8 B (図 3 参照) を押圧しており、圧電素子ユニット 4 1 と開口部 5 4 との間はリング 5 3 によって封止されている。

以上説明したように第 2 実施形態によれば、圧電素子ユニット 4 1 及びモータを、いずれも狭帯域化ボックス 3 1 の外部に付設している。これにより、圧電素子ユニット 4 1 に紫外線のレーザ光 2 1 が当たって劣化するようなことがなく、紫外線カバー 4 4 を設ける必要もない。さらに、配線 5 2 にも紫外線が当たらず、配線 5 2 を覆う絶縁材等から、不純物ガスが発生して光学部品を汚損するようなこともない。

次に、第 3 実施形態について説明する。図 7 に、第 3 実施形態に係る可動ホルダ 3 6 の、狭帯域化ボックス 3 1 内部側から見た正面図を示す。図 7 に示すように、四角形のミラーホルダ 3 8 の 4 隅部 3 8 A ~ 3 8 D のうち、第 1 隅部 3 8 A は、狭帯域化ボックス 3 1 に固定された手動マイクロメータ 5 0 によって、狭帯域化ボックス 3 1 から押圧されている。また、第 2 隅部 3 8 B 及び第 3 隅部 3 8 C には、パルスモータユニット 4 0 及び圧電素子ユニット 4 1 が、それぞれ装着されている。ミラーホルダ 3 8 は、図 2 と同様にして、引きバネ (図示せず) 及び板バネ 4 9 の付勢力によって狭帯域化ボックス 3 1 に引きつけられている。

即ち、パルスモータユニット 4 0 と圧電素子ユニット 4 1 とを、異なる隅部 3 8 B, 3 8 C に配したことにより、パルスモータユニット 4 0 と圧電素子ユニット 4 1 とを直列に並べるよりも、可動ホルダ 3 6 の構成が簡単になる。同時に、圧電素子ユニット 4 1 を狭帯域化ボックス 3 1 の外部に設置することが可能となるので、圧電素子ユニット 4 1 が紫外線に照射されることが少なく、その劣化を防止できる。

第 2、第 3 実施形態においても、中心波長 λ_c を目標波長 λ_0 に短時間で制御するための手順は、上記第 1 及び第 2 の制御手順と同様である。但し、時刻 $t_{13} \sim t_{14}$ 及び時刻 $t_{25} \sim t_{26}$ において、圧電素子ユニット 4 1 を中立位置に戻す場合には、波長選択ミラー 3 4 の傾きが変化しないように、パルスモータ

ユニット40にパルス信号を出力する必要がある。

上記の各実施形態においては、波長選択ミラー34を可動ホルダ36に搭載し、これを駆動することによって入射角度 ϕ を変え、中心波長 λ_c を制御するように説明したが、これに限られるものではない。例えば、図8に示すように、波長選択ミラー34を設けずに、グレーティング33を可動ホルダ36に搭載して、レーザ光軸20に対する入射角度 ϕ を直接変えてもよい。或いは図9に示すように、プリズム32を可動ホルダ36に搭載して、入射角度 ϕ を変えてもよい。

このように、波長選択ミラー34を設けない構成にすれば、狭帯域化ユニット30内のレーザ光21の光路が短くなり、レーザ光21の回折損失が少なくなつて出力が向上する。従って、例えばゲインの小さなArFエキシマレーザ装置などに応用する場合に、より効果的である。さらに、波長を狭帯域化して中心波長 λ_c を決定する狭帯域化光学部品として、グレーティング33を例にとって説明したが、これに限られるものではなく、例えばエタロンについても応用可能である。

また、上記各実施形態では、エキシマレーザ装置11を例にとって説明したが、フッ素レーザ装置に応用しても同様に効果的である。即ち、レーザ光21の中心波長 λ_c を制御するようなレーザ装置全般に、応用が可能である。さらには、圧電素子ユニット41は圧電素子に限らず、電圧、電流、或いは磁気等を印加することによって、短時間でその長さを変化させるようなものであればよく、例えば、電歪素子や磁歪素子等を用いてもよい。

従来技術で説明した日本特開5-283785号には、波長選択ミラー34を、ジンバル機構を備えたミラーホルダ38に装着する実施例が開示されている。この記載によれば、波長選択ミラー34の角度 θ を調整するための手動のツマミの先端に、圧電素子を装着してもよいとされている。しかしながら、これは手動でツマミを概略合わせた上で、圧電素子のみを用いて自動的に波長選択ミラー34の角度を制御するというものであり、本発明の構成とは全く異なっている。

請求の範囲

1. 光学部品をレーザ光軸に対して移動自在とする可動ホルダと、
前記光学部品をレーザ光軸に対して移動させ、レーザ光の狭帯域化光学部品への
入射角度を変更してレーザ光の中心波長を所定の目標波長に制御するレーザコン
トローラとを備えるレーザ装置の波長制御装置において、

前記可動ホルダは、微小距離を駆動する第1駆動機構と、前記第1駆動機構よ
りも長い距離を駆動する第2駆動機構とを備えることを特徴とするレーザ装置の
波長制御装置。

2. 請求の範囲1記載のレーザ装置の波長制御装置において、

前記第1駆動機構が圧電素子ユニットであり、

前記第2駆動機構がパルスモータユニットであることを特徴とするレーザ装置
の波長制御装置。

3. 請求の範囲1記載のレーザ装置の波長制御装置において、

前記レーザコントローラは、前記光学部品の移動の際に、

前記第1駆動機構により前記光学部品を移動させ、

その後、前記第2駆動機構により前記光学部品を移動させることを特徴とするレ
ーザ装置の波長制御装置。

4. 請求の範囲2記載のレーザ装置の波長制御装置において、

前記レーザコントローラは、前記光学部品の移動の際に、

前記圧電素子ユニットにより前記光学部品を移動させ、

その後、前記パルスモータユニットにより前記光学部品を移動させることを特徴
とするレーザ装置の波長制御装置。

5. 請求の範囲 1 記載のレーザ装置の波長制御装置において、

前記レーザコントローラは、

前記第 1 駆動機構により前記光学部品を移動させて中心波長を所定の目標波長に合わせ、

中心波長を目標波長に合わせた状態で、前記第 1 駆動機構を中立位置に戻すと同時に、前記第 1 駆動機構を中立位置に戻すことによる前記光学部品の位置変化を、前記第 2 駆動機構によって相殺させることを特徴とするレーザ装置の波長制御装置。

6. 請求の範囲 2 記載のレーザ装置の波長制御装置において、

前記レーザコントローラは、

前記圧電素子ユニットにより前記光学部品を移動させて中心波長を所定の目標波長に合わせ、

中心波長を目標波長に合わせた状態で、前記圧電素子ユニットを中立位置に戻すと同時に、前記圧電素子ユニットを中立位置に戻すことによる前記光学部品の位置変化を、前記パルスモータユニットによって相殺させることを特徴とするレーザ装置の波長制御装置。

7. 請求の範囲 1, 3, 5 のいずれか一つに記載のレーザ装置の波長制御装置において、

レーザ光の中心波長をモニタリングする波長モニタを更に備え、

前記レーザコントローラは、レーザ発振を所定時間以上停止した後に再発振する際、

再発振後の目標波長に基づき、発振停止中に予め、前記第 2 駆動機構を駆動して前記光学部品のレーザ光軸に対する位置を変更し、

再発振直後に、前記波長モニタでモニタリングしたレーザ光の中心波長に基づき、前記第 1 駆動機構により前記可動ホルダを駆動して前記光学部品のレーザ光軸

に対する位置を再変更することを特徴とするレーザ装置の波長制御装置。

8. 請求の範囲 2, 4, 6 のいずれか一つに記載のレーザ装置の波長制御装置において、

レーザ光の中心波長をモニタリングする波長モニタを更に備え、

前記レーザコントローラは、レーザ発振を所定時間以上停止した後に再発振する際、

再発振後の目標波長に基づき、発振停止中に予め、前記パルスモータユニットを駆動して前記光学部品のレーザ光軸に対する位置を変更し、

再発振直後に、前記波長モニタでモニタリングしたレーザ光の中心波長に基づき、前記圧電素子ユニットにより前記可動ホルダを駆動して前記光学部品のレーザ光軸に対する位置を再変更することを特徴とするレーザ装置の波長制御装置。

要約書

短時間で、レーザ光の中心波長を所望の目標波長に制御可能な、レーザ装置の波長制御装置を提供する。このため、光学部品(34)をレーザ光軸(20)に対して移動自在とする可動ホルダ(36)と、光学部品をレーザ光軸に対して移動させ、レーザ光(21)の狭帯域化光学部品(33)への入射角度(ϕ)を変更してレーザ光の中心波長を所定の目標波長に制御するレーザコントローラ(13)とを備えるレーザ装置の波長制御装置において、可動ホルダは、微小距離を駆動する圧電素子ユニット(41)と、圧電素子ユニットよりも長い距離を駆動するパルスモータユニット(40)とを備える。